中国生态农业学报 2017 年 7 月 第 25 卷 第 7 期
Chinese Journal of Eco-Agriculture, Jul. 2017, 25(7): 1052−1059

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.161080

赵青, 许皞, 郭年冬. 粮食安全视角下的环京津地区耕地生态补偿量化研究[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(7): 1052−1059

Zhao Q, Xu H, Guo N D. Quantitative study on cultivated land ecological compensation in the area around Beijing and Tianjin from the perspective of grain security[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2017, 25(7): 1052−1059

粮食安全视角下的环京津地区耕地生态补偿量化研究*

赵 青[1], 许 皞[1,2**], 郭年冬[2]

(1. 河北农业大学国土资源学院 保定 071000; 2. 河北农业大学资源与环境科学学院 保定 071000)

摘 要: 本文基于生态系统服务价值, 从粮食安全角度出发, 通过计算粮食耕地盈亏量、粮食耕地超载指数和补偿系数, 建立了耕地生态补偿模型, 通过量化县域耕地生态补偿, 对河北省环京津地区耕地生态补偿问题进行了研究。研究结果表明: 1)环京津耕地"生态供给"与"生态消费"存在典型的"空间异位"现象, 其中耕地"生态消费"主要集中于环京津南部地区, 而耕地"生态供给"则主要集中在环京津西部地区。2)2014 年环京津耕地生态系统服务价值为 4.480 5×10^{10} 元, 整体呈现不能自足的态势, 总赤字金额为 7.834×10^{9} 元。3)环京津地区中, 河北省张北县、兴隆县、蔚县、尚义县和涞源县等 17 个县市表现为盈余, 其余各县市均呈现为赤字状态。其中滦南县需支付的耕地生态补偿量最高, 为 5.173×10^{7} 元, 其次为玉田县和东光县, 分别为 4.864×10^{7} 元和 4.849×10^{7} 元。虽然遵化市、滦平县、曲阳县可获得补偿, 但其耕地生态条件也仅仅表现为"紧平衡", 仍需受到广泛关注。4)以粮食安全角度为出发点, 2014 年环京津区急需获得耕地生态补偿的县为张北县、蔚县、尚义县、阳原县、涞源县和曲阳县, 需支付耕地生态补偿的县为滦南县、玉田县、献县、吴桥县和定州市, 唐县、涞水县和丰宁满族自治县既不需获得也不需支付耕地生态补偿。与前人的研究相比, 本研究以生态补偿为切入点对河北省环京津地区耕地补偿问题进行了研究, 研究结果对于促进环京津地区经济发展、耕地生态环境保护与耕地资源持续高效利用发挥着重要作用。同时, 此方法的运用可为类似地区生态补偿的量化研究提供参考, 为其他地区以生态价值量确定耕地保护指标提供依据, 对耕地生态补偿价值机制的研究有指导意义。

关键词: 耕地; 生态系统服务价值; 粮食安全; 生态供给; 生态消费; 生态补偿; 环京津地区

中图分类号: F301.24 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2017)07-1052-08

Quantitative study on cultivated land ecological compensation in the area around Beijing and Tianjin from the perspective of grain security*

ZHAO Qing[1], XU Hao[1,2**], GUO Niandong[2]

(1. College of Land Resources, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China; 2. College of Resources and Environmental Sciences, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China)

Abstract: There is renewed research on ecological compensation of cultivated lands towards food security, a necessary requirement for the stable development of a country and society. In order to promote coordinated development and construction of integration ecological environment for Beijing City, Tianjin City and Hebei Province, a grain-security-driven model was built to simulate ecological compensation of cultivated lands in the region. The model used ecosystem services value to calcu-

* 河北省政府财政预算项目(2014995161)资助
** 通讯作者: 许皞, 研究方向为土地资源。E-mail: xuhao22003@126.com.cn
赵青, 研究方向为土地资源利用与规划。E-mail: 932490026@qq.com
收稿日期: 2016-11-29 接受日期: 2017-04-05

* This study was supported by the Government Budget Project of Hebei Province of China (2014995161).
** Corresponding author, E-mail: xuhao22003@126.com.cn
Received Nov. 29, 2016; accepted Apr. 5, 2017

late grain budget, overload index and compensation coefficient of cultivated land. The farmland ecological compensation of each county (city) was analyzed quantitatively for the Beijing-Tianjin environs using the calibrated and validated ecological compensation model for cultivated lands. The results showed that: 1) the "ecological supply" and "ecological consumption" of farm lands in the Beijing-Tianjin environs were typically similar in terms of "ectopic space" phenomenon. While "ecological consumption" of cultivated lands was mainly concentrated in farmlands in the south of Beijing and Tianjin environs, "ecological supply" was mainly concentrated in cultivated farmlands in the west of Beijing and Tianjin environs. 2) The value of ecosystem services of farmlands around Beijing and Tianjin in 2014 was 4.480 5×10^{10} ¥, whose situation continued to worsen with a total deficit of 7.834×10^{9} ¥. 3) In the area around Beijing and Tianjin, Zhangbei County, Xinglong County, Weixian County, Shangyi County, Laiyuan County, on to a total of 17 counties had surpluses, and the other counties had deficits. Luannan County was highest in payment of farmland ecological compensation (5.173×10^{7} ¥), followed by Yutian County (4.864×10^{7} ¥) and then Dongguang County (4.849×10^{7} ¥). Although Zunhua County, Luanping County and Quyang County were compensable, their ecological conditions of cultivated lands were in bare balance. 4) From the point of view of food security, there were several counties requiring for farmland ecological compensation in 2014 around Beijing and Tianjin, including Zhangbei County, Weixian County, Shangyi County, Yangyuan County, Laiyuan County and Quyang County. Several counties should pay for farmland ecological compensation, they were Luannan County, Yutian County, Xianxian County, Dingzhou City and Wuqiao County. Tangxian County, Laishui County and Fengning Manzu Autonomous County neither needed nor paid farmland ecological compensation. Compared with previous studies, this study on farmland ecological compensation provided a starting point for research on compensation for farmlands around Beijing and Tianjin. The results could promote economic development, ecological protection of farmlands, and sustainably efficient utilization of farmland resources around Beijing and Tianjin. Meanwhile, the application of this method provided the theoretical reference for quantitative study of ecological compensation of farmlands in similar regions. It could provide references for determining cultivated land protection index with ecological value for other area. It was vital to conduct further research on ecological compensation mechanisms in cultivated lands.
Keywords: Cultivated land; Ecosystem services value; Grain security; Ecological supply; Ecological consumption; Ecological compensation; Area around Beijing and Tianjin

粮食安全问题关乎人民生活水平、社会安定团结和国家稳定发展。近些年我国政府通过粮食直补等方式为实现粮食安全做出了巨大努力，粮食安全问题得到了有效缓解，但随之而来的经济压力又成为了新的难题。基于此，以解决粮食安全为出发点的研究已成为耕地生态系统可持续研究的热点。众所周知，粮食主产区由于肩负粮食生产与耕地保护的任务，其在一定程度上也失去了公平发展的机会，虽然粮食产品可以带来部分收益，但是与其对维护生态环境质量所带来的效益相差甚远。为了调动耕地保护主体的主动性和积极性，解决"吃饭"与"建设"二者之间的矛盾，从而最终实现全面的粮食安全，耕地资源的生态补偿量化研究势在必行。

目前，国内外相关学者研究认为生态补偿的核心是明确生态补偿的依据，因其直接关系到补偿的科学性与有效性，成为目前生态补偿工作的重点和难点[1]。目前，国内在森林、水体等领域已有一些在对生态系统服务价值分析的基础上确定补偿依据的研究案例[2-3]，这些研究对推动生态补偿理论的发展起到了十分重要的作用。然而，随着"吃饭"与"建设"二者矛盾的日益突出，耕地生态价值补偿的研究正在成为新的研究热点，但目前还处于探索阶段[4-5]。本研究的创新性在于以粮食安全作为耕地生态补偿的依据，在明确环京津地区补偿与受偿主体的基础之上，以生态系统非市场服务价值为基础测算了补偿与受偿的金额，并量化了其获得补偿与支付补偿的迫切程度，研究成果对区域间耕地生态经济补偿提供了依据。

河北省环京津地区作为京津地区重要的粮食供给与生态保障区，在资源的开发利用、工业生产、娱乐文化等方面做出了很大牺牲，且其粮食供需也仅仅处于"紧平衡"状态，因此以河北省环京津地区为研究对象具有典型性，其研究结果有利于全面掌握环京津地区的粮食安全问题，进而理顺耕地生态补偿的经济关系，维护环京津地区的经济发展、实现耕地数量动态平衡与耕地生态环境保护。

1　研究区现状及研究方法

1.1　研究区现状

本研究选取包括与北京、天津地区接壤的河北保定、沧州、廊坊、唐山、承德、张家口 6 个区市所辖的 72 个县(市)为研究对象，如图 1。研究区土地总面积为 1.33×10^{7} hm^2，总人口约 3.78×10^{7} 人[6]。年降水量 400~800 mm，年均气温 0~12 ℃。研究区

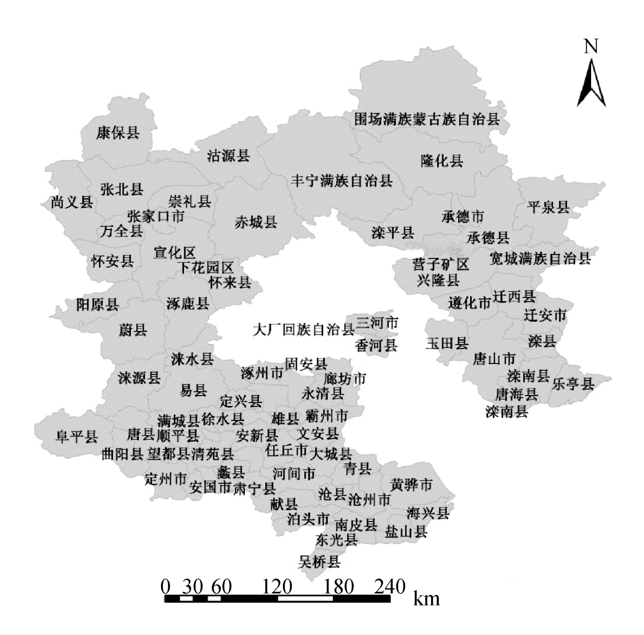


图 1　环京津地区县(市)分布

Fig. 1　Distribution of counties (cities) in the area around Beijing and Tianjin

气候类型是北温带大陆性季风气候，基本特点是春季比较干燥，刮风次数频繁，夏季闷热潮湿，降雨较多，秋季昼夜温差较大，冬季寒冷干燥，降雪少。地貌类型较为复杂，主要为沿海滩涂、平原、丘陵、山地、高原等。在研究区土地类型中耕地与林地数量最多，分别占土地总面积的 30.48%和 28.00%，水域面积最少，只占总面积的 3.67%。区位条件独特，地理位置重要，环京津区作为实现京津地区粮食安全与生态安全的重要粮食供给与生态缓冲地带，担负着粮食生产、“保水、阻沙、防风”之重任。

1.2　研究方法

1.2.1　区域耕地生态系统服务价值测算

本论文综合借鉴并参照相关领域学者的研究进展，如 Costanza 等[7-8]与谢高地等[9]学者的研究，以此为基础进行实地调研，计算河北省环京津地区单位耕地面积生态服务价值系数。2014 年中国单个生态系统价值当量的经济价值为 567.45 元·hm^{-2}，结合 2014 年《环京津统计年鉴》的相关数据，计算得出 2014 年环京津区平均粮食产量为 5 536.32 kg·hm^{-2}，又因全国平均粮食产量为 5 861.62 kg·hm^{-2}，据此在对全国单个生态当量进行修正的基础上，确定环京津单个生态当量的价值为 535.96 元·hm^{-2}。再计算陆地生态系统单位面积生态服务价值系数(单位当量×当量)，最终得到环京津区单位土地面积生态服务价值系数(VC，表 1)。

表 1　2014 年环京津地区单位耕地面积各生态服务功能的价值系数

Table 1　Ecological service value per unit area of cultivated land in the area around Beijing and Tianjin in 2014

¥·hm^{-2}

生态系统服务功能 Ecological system service function									合计 Total
气体调节 Gas regulation	气候调节 Climate regulation	水源涵养 Water reservation	土壤形成与保护 Formation and protection of soil	废物处理 Waste disposal	生物多样性保护 Biodiversity conservation	食物生产 Food production	原材料 Raw materials	娱乐文化 Entertainment and culture	
300.09	534.15	360.10	876.25	984.28	426.12	600.17	60.01	6.00	5 046.59

生态系统服务价值的计算公式为[10]:

$$A_e=\sum A_i\times V_i \tag{1}$$

式中: A_e为研究区第 i 类土地利用类型的生态系统服务价值，单位为元；A_i 代表环京津区第 i 类土地利用类型面积，单位为 hm^2；V_i 代表环京津区第 i 类土地利用类型单位土地面积的生态服务价值系数，单位为元·hm^{-2}。本文中仅研究耕地资源，即土地利用类型为耕地。

1.2.2　生态足迹与生态承载力测算

1)生态足迹的测算。生态足迹是指在一定的经济规模条件下，为维持特定人口的资源消费和容纳废弃物所必需的生物生产土地面积(表 1)，生态足迹计算公式可表示为[11]:

$$\mathrm{EF}=N\times \mathrm{ef}=N\times r_j\times\sum(c_i/p_i) \tag{2}$$

式中: EF 为总的生态足迹，N 为人口数量，ef 为人均生态足迹，i 为消费商品的类别，p_i 为第 i 种商品的世界平均生产力，c_i 为第 i 种商品的人均消费量，r_j 为均衡因子。

2)生态承载力的测算。土地的产量因子是区域平均生产力与世界同类土地平均生产力的比率。土地类型的产量因子选取 Wackernagel 等计算中国生态足迹时采用的平均值，耕地为 1.8，在各区域尺度的生态足迹计算中广泛地使用了该产量因子值[12-13]。为了与其他物种保持共存，即保护物种的多样性，应该剩余 12%的土地用来维持物种多样性，故在生态承载力计算时应扣除 12%的生物多样性保护面积。计算生态承载力的公式为:

$$\mathrm{EC}=N\times \mathrm{ec}=N\times r_j\times y_j\sum a_j\ \left(j=1,2,3\cdots,6\right) \tag{3}$$

式中: EC 为区域生态承载力, N 为人口数, ec 为人均生态承载力, a_j、r_j、y_j 分别为第 j 种消费商品类型人均生物生产面积、均衡因子和产出因子。

3)生态超载指数的计算。

生态超载指数计算公式为:

$$\mathrm{EOI}=(\mathrm{EF}-\mathrm{EC})/\mathrm{EC} \tag{4}$$

若 EOI=0 表示所研究区域的生态环境处于生态平衡状态; EOI>0 时, 其值越大, 表示所研究区域的生态超载程度越严重, 反之亦然。

1.2.3　区域获得或支付补偿的判定及补偿比例测算模型

粮食供需平衡法参考周小平[14]、曹瑞芬等[15-16]学者的研究成果, 采用粮食供需平衡法求取一个区域粮食耕地盈亏量的过程, 具体如下:

1)区域粮食耕地需求量的测算。在综合考虑区域总人口、粮食单产(单位播种面积的粮食产量)、粮食自给率、人均粮食消费水平等指标的基础上, 采用公式(5)和(6)测算区域粮食耕地需求量。

$$d_1=\alpha\times c\times\frac{S_1}{Y} \tag{5}$$

$$D_1=d_1\times N \tag{6}$$

式中: d_1 代表研究区粮食耕地的人均需求量, α 表示粮食自给率, c 表示研究区域人均粮食需求量, S_1 表示总耕地面积, Y 表示粮食总产量, N 表示人口总数, D_1 为该区域粮食耕地总需求量。

2)区域粮食耕地盈亏量为区域内粮食耕地需求量(D_1)与供给量(S_1)之差, 计算公式如下:

$$L_1=S_1-D_1 \tag{7}$$

式中: L_1 表示该地区的粮食耕地总盈亏量, 即这一区域的耕地存量与粮食耕地总需求量的差额。L_1 大于 0, 意味着该区处于粮食耕地盈余状态, 反之则为亏损。

3)基于粮食安全超载指数的补偿比例测算模型。本文引入粮食安全超载指数衡量耕地生态利用程度,指特定区域耕地存量与粮食耕地总需求量之差占耕地存量的百分比。

$$D_\mathrm{I}=\frac{S_1-D_1}{S_1} \tag{8}$$

式中: D_I 表示该区域粮食耕地超载指数。若 D_I=0 时, 表示该地区的粮食耕地处于平衡状态, 表现为“紧粮食安全”; 当 D_I>0 时, 其值越大, 表示该地区粮食耕地盈余程度越大, 对于维护环京津地区粮食安全的能力越高, 粮食安全程度越高; 反之, D_I<0 时, 其值越小, 表示该地区的粮食耕地缺口程度越严重, 粮食不安全程度越高。

4)补偿系数测算模型。随着当代社会经济水平的迅速发展, 保护生态环境的意识逐渐引起人们的关注。在这种逐步深入的过程中, 可利用 S 型皮尔生长曲线, 模拟其支付能力的行为, 利用恩格尔数模型[16]来测算和量化研究区社会经济水平和人类生活水平, 公式见(9)、(10):

$$r=\frac{1}{1+\mathrm{e}^{-t}} \tag{9}$$

$$t=En=Ea\times\varphi+Eb\times(1-\varphi) \tag{10}$$

式中: r 表示社会对耕地生态保护支付意愿及能力有关的社会发展阶段系数, 即补偿系数, $r\in(0, 1)$; 分子 1 最大值说明耕地生态支付能力达到最大; En 为综合恩格尔系数; Ea 为城镇恩格尔系数; Eb 为农村恩格尔系数; φ为城镇化水平。

5)综合测算模型。为了完善、准确地认识和测算耕地粮食安全补偿量, 不仅要明确价值补偿标准, 也应考虑到补偿区域的资源利用、实际补偿能力等因素, 建立生态服务价值与生态价值补偿之间的关系函数。本论文把耕地生态服务价值、粮食安全和经济发展水平结合起来, 利用此种方法计算耕地粮食安全补偿量, 具体见式(11):

$$A_{ec}=A_e\times D_1\times r=A_e\times\frac{S_1-D_1}{S_1}\times r \tag{11}$$

式中: A_{ec} 为研究区需支付(获得)的耕地粮食安全补偿量, 单位为元·年$^{-1}$; A_e 为研究区耕地生态系统服务价值, 单位为元·年$^{-1}$; S_1 为总耕地面积, 单位为 hm^2; D_1 表示该区域粮食耕地总需求量(hm^2); r 表示补偿系数。若 A_{ec} 为正, 则说明此地区需要支付生态补偿, 其值越大, 需支付的补偿越多, 反之, 若 A_{ec} 为负, 表明此地区需获得生态补偿。

1.2.4　区域生态补偿优先级计算

各地区间社会经济发展水平差距较大, 依照区域的经济发展水平(GDP)量化不同区域的耕地生态补偿程度是最方便最直观的方法, 耕地生态补偿对经济发展进步区域的迫切程度要缓于发展水平较低的区域[17-18]。生态系统服务价值由市场价值与非市场价值两部分构成, 前者由于在市场机制中已经以货币的形式回归到该区域, 因此在测算生态补偿优先级(ECPS)时应摒弃这部分价值, 只取其非市场价值部分, 本论文某地区生态补偿优先级的计算方法是用该地区单位面积生态系统服务的非市场价值与单位面积 GDP 的比值来确定。具体表达如下:

$$S_\mathrm{ECP}=V_\mathrm{aIN}/\mathrm{GDP_N} \tag{12}$$

式中: S_ECP 表示生态补偿优先级, $\mathrm{GDP_N}$ 为地区单位

面积的生产总值, V_{aIN}为单位面积生态系统非市场价值。如果研究区粮食耕地存在缺口且生态补偿优先级较小, 说明该区域表现为粮食不安全, 但支付生态补偿后对其经济状况影响较小, 应当率先支付耕地生态补偿资金; 相反则说明该地区粮食较安全, 当获得生态补偿后, 其社会经济发展水平将会有较大提高, 应当首先对此地区进行耕地生态补偿[19]。

1.3　数据来源及参数的确定

通过对环京津 2014 年 Landsat TM 影像图的解译, 得到本论文的研究数据, 以 ENVI4.7 软件平台为支撑, 组合波段 5、4、3, 通过几何校正和其研究区边界的裁剪, 利用 Arcgis10.0, 采用监督分类法, 将其和目视解译的方法进行组合, 解译研究区的耕地, 参照 2014 年的《环京津经济统计年鉴》和河北省土地变更调查数据, 检验解译结果的精度, 调整后得到研究区耕地利用数据库。其他相关数据来自于 2014 年《环京津农村统计年鉴》、《环京津经济统计年鉴》和《全国农产品成本收益资料汇编》等。本研究中相关参数的来源如下:

在测算粮食供需平衡时, 以世界粮农组织、周小平等[14]的研究成果为基础, 可确定人均粮食消费量(c)为 400 kg·人$^{-1}$; 根据 2008 年制定的《国家粮食安全中长期规划纲要》, 可确定粮食自给率(α)[20]为 95%。

2　结果与分析

2.1　河北省环京津耕地的生态系统服务价值测算

2014 年环京津耕地生态系统服务总价值呈“空间分异”的现象, 由东南向西北生态系统服务价值呈现出逐渐降低的趋势。环京津耕地生态系统服务价值总量为 $4.480\ 5\times10^{10}$元, 中部地区耕地生态系统服务价值最高, 为 $1.938\ 4\times10^{10}$元, 占环京津总价值的 43.26%; 其次为南部地区, 为 $1.477\ 1\times10^{10}$元, 占总价值的 32.97%; 北部地区最小, 为 $1.064\ 9\times10^{10}$元, 占总价值的 23.77%。环京津耕地生态系统服务价值总体呈现从北至南依次升高的态势, 其价值分别为北部地区 2.662×10^{9}元, 中部地区 4.846×10^{9}元, 南部地区 4.924×10^{9}元, 造成这种现象的直接原因为耕地数量由北至南呈现依次增加趋势。在市域范围的测算中, 沧州市最大, 为 5.73×10^{9}元; 承德、廊坊最小, 分别为 1.933×10^{9}元、2.425×10^{9}元, 其余市为 3.5×10^{9}~5.5×10^{9}元。

2.2　环京津耕地的生态超载指数

河北省环京津耕地生态超载指数整体呈现赤字的态势, 如图 2。仅位于北部地区的张家口(0.33)、东部地区的唐山(0.07)、中部地区的廊坊(0.05)表现为盈余, 其余各县市均呈现为赤字的状态。除廊坊外位于中部及南部地区的各市均呈现为赤字状态, 这是由于中部及南部地区为环京津经济较为发达的地区, 特别是保定市, 其社会经济发展迅速, 是以耗损大量、高质量的耕地资源为代价的, 并且越来越多人口向保定市聚集, 使得保定市的耕地生态承载力不足以支撑其生态耗损的能力。位于环京津中部地区的沧州超载指数最大, 为–0.57, 这是由于沧州市作为沿海城市, 部分耕地存在盐渍化现象, 导致其作物产量较全省其他城市而言最低, 从而表现为耕地生态超载指数最大。

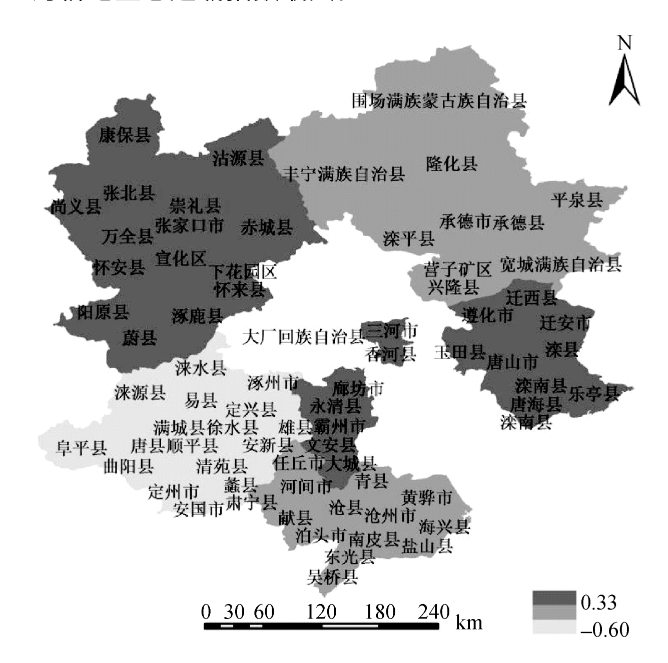


图 2　环京津地区耕地生态超载指数

Fig. 2　Ecological overload index of cultivated land in the area around Beijing and Tianjin

2.3　环京津耕地生态补偿优先级

环京津地区“生态供给”与“生态消费”存在典型的“空间异位”现象。环京津耕地“生态消费”主要集中于中部及南部地区, 而耕地“生态供给”则主要集中在北部地区。根据区域应获得或者支付补偿的判定方法确定 2014 年环京津获取耕地生态补偿的县市主要集中于张家口、唐山、廊坊市; 支付耕地生态补偿的县市为张北县、兴隆县、蔚县、尚义县和涞源县等 17 个, 主要集中在保定、沧州及承德地区, 如图 3a。

环京津耕地生态补偿优先级由东南向西北逐渐升高, 如图 3b。西北部地区优先级较高, 如张家口市的康宝县、张北县、尚义县以及保定市的涞源县等, 耕地生态补偿优先级较大; 其中张北县的优先

级最高，其次为涞源县，耕地生态补偿优先级分别为 0.168 0、0.148 7，这些地区应优先获得耕地生态补偿，因为这些地区耕地质量较高，粮食较安全，为北京、天津的发展提供了强有力的支撑，当获得耕地生态补偿后其经济将得到更快发展；而东北部和中部地区耕地补偿优先级较低，如宽城满族自治县、乐亭县、大厂回族自治区和兴隆县等，应首先向其他地区支付耕地生态补偿；优先级最小的为宽城满族自治县，其次为乐亭县，耕地生态补偿优先级分别为 0.014 5、0.019 9，其发展相对缓慢，耕地质量差且面积少，整体表现为粮食不安全，经济发展受生态补偿影响小，应优先支付生态补偿金。

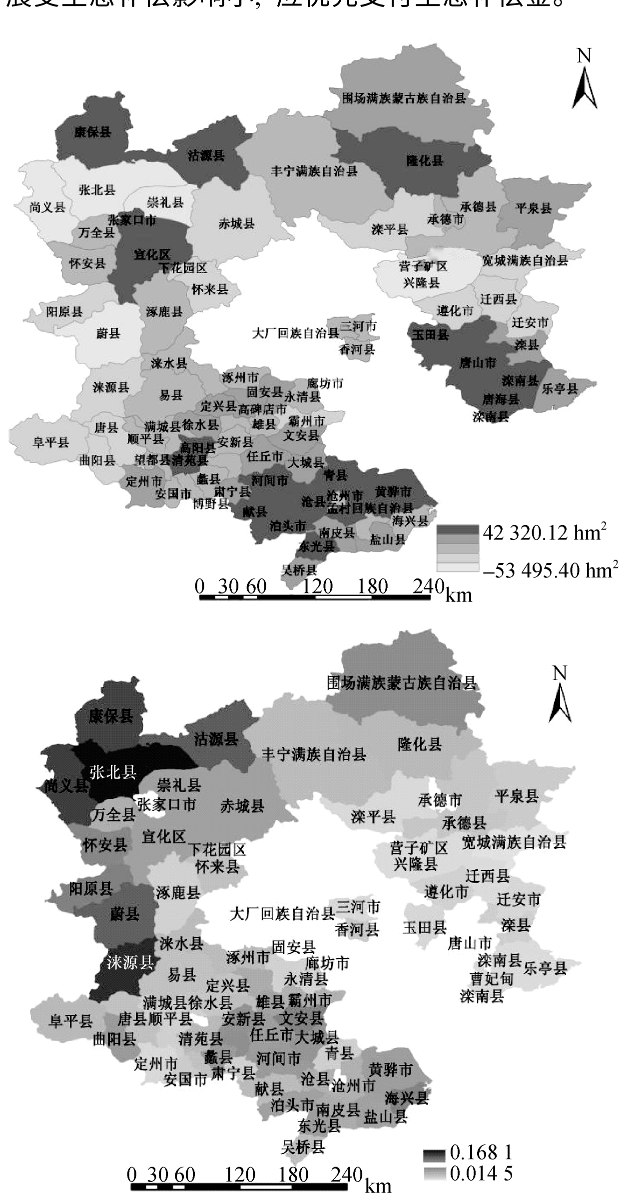


图 3　环京津地区耕地生态盈余/赤字**(a)**及耕地生态补偿优先级**(b)**分布图

Fig. 3　Ecological surplus or deficit of cultivated land (a) and priority of cultivated land ecological compensation (b) in the area around Beijing and Tianjin

2.4　耕地生态补偿量分析

从补偿量角度分析，2014 年环京津耕地生态补偿量整体呈现不能自足的态势，表现为耕地生态赤字，总赤字金额为 7.834×10^9 元。西北部地区支付补偿总额最高，为 4.694×10^9 元，占研究区总量的 59.91%，其中沧州市支付总量最高，为 1.811×10^9 元，其次为保定市，达 1.541×10^9 元，承德市也需支付耕地生态补偿金，为 1.342×10^9 元；北部地区整体表现为耕地生态盈余，可获得 6.97×10^8 元耕地生态补偿，其中张家口市可获得最多补偿，为 6.29×10^8 元，其次为唐山 1.75×10^8 元，廊坊 6.7×10^7 元，虽然这些地区是耕地生态盈余的状态，但耕地生态条件也仅仅表现为“紧平衡”。从县域来看，滦南县支付补偿金额最高，为 5.173×10^7 元；其次为玉田县与东光县，分别为 4.864×10^7 元、4.849×10^7 元；支付补偿金额最小的唐县为 4.914×10^5 元，最大值为最小值的 105 倍，差距悬殊。张北县获得的补偿金额最大，为 6.540×10^7 元；其次为兴隆县、蔚县，分别为 5.944×10^7 元、3.919×10^7 元；获得补偿金额最小的为遵化市，为 8.2×10^3 元；耕地生态条件“紧平衡”的县市为遵化市、滦平县和曲阳县，具体分布情况见图 4。

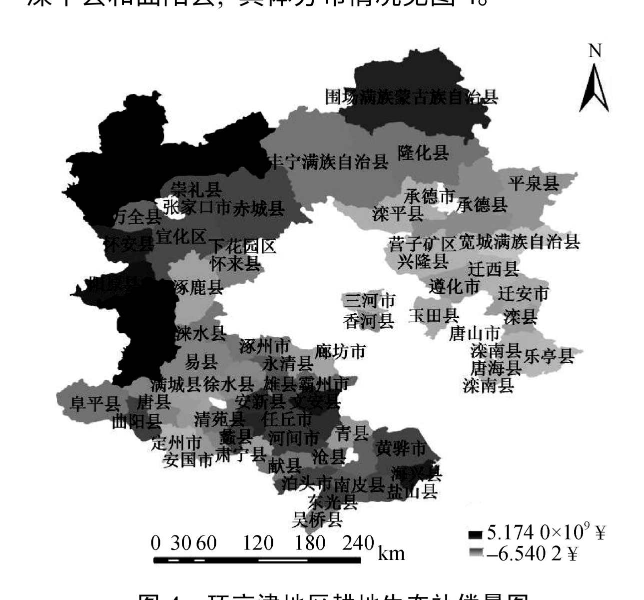


图 4　环京津地区耕地生态补偿量图

Fig. 4　Quantification of ecological compensation of counties (cities) in the area around Beijing and Tianjin

2.5　粮食安全视角下的环京津耕地生态补偿量

根据测算结果，利用 ARCGIS10.0 自然断点法将生态补偿优先级分为 4 级，由大到小分别为 0.168 1~0.075 0、0.074 9~0.048 4、0.048 3~0.031 5 和 0.031 4~0.014 5，其值越大说明应优先对其进行补偿。由上述耕地生态补偿量(图 4)分析可知，粮食耕地缺口最大的县为滦南县、玉田县、东光县和沧

县等 19 个县，补偿量均在 3.400×10^7 元以上，其中滦南县、玉田县、献县、吴桥县和定州市生态补偿优先级较小，表现为粮食不安全，人均耕地资源较少，在发展经济的同时以粮食和生态安全为代价，为其他地区提供生态服务，属于“生态消费区”，支付生态补偿后对其经济状况影响较小，因此应优先进行生态支付。粮食耕地盈余县为张北县、兴隆县、蔚县和尚义县等 17 个县，其中张北县、蔚县、尚义县、阳原县、涞源县和曲阳县的生态补偿优先级最大，表现为粮食安全，城镇化和工业化水平的快速推进使得这些县成为“生态供给区”，获得补偿后对其经济发展影响较大，应率先获得生态补偿。唐县、涞水县和丰宁满族自治县粮食耕地均存在较小缺口，且生态补偿优先级较小，但基本能满足自身要求，并不急需获得生态补偿。

3 结论与讨论

本文以地区及市级行政区为研究单元，引入了耕地生态补偿量化模型，对河北省环京津的 72 个县(市)的耕地生态状况进行了探究，并量化了其补偿强度。研究结果显示：1)2014 年环京津耕地生态系统服务总价值为 $4.480\ 5\times10^{10}$ 元，其价值分布整体呈现北部低、中部及南部高的特点，符合耕地数量由北至南依次增加的趋势。2)环京津耕地生态超载指数整体呈现赤字的态势。位于北部地区的张家口、唐山、廊坊小部分地区表现为盈余，其余各县(市)均呈现为赤字的状态。3)环京津耕地“生态供给”与“生态消费”存在典型的“空间异位”现象，其中“生态消费”主要集中于中部及南部地区，而耕地“生态供给”则主要集中在北部地区，其中获得耕地生态补偿的县市为张北县、兴隆县、蔚县、尚义县、涞源县等 17 个，其余各县市均需支付补偿。4)2014 年环京津耕地生态系统服务价值整体呈现不能自足的态势，总赤字金额为 7.834×10^9 元，其中滦南县需支付的耕地生态补偿量最高，其次为玉田县与东光县。张北县获得的补偿金额最大；虽然遵化市、滦平县、曲阳县可获得补偿，但其耕地生态条件也仅仅表现为“紧平衡”，仍需受到广泛关注。5)从粮食安全视角考虑，环京津区急需获得耕地生态补偿的县为张北县、蔚县、尚义县、阳原县、涞源县和曲阳县，需支付耕地生态补偿的县为滦南县、玉田县、献县、吴桥县和定州市，唐县、涞水县和丰宁满族自治县粮食安全基本可以保证，可自给自足，既不需获得也不需支付耕地生态补偿。

由于前人研究较多的是补偿优先级，即“谁先补偿谁”的问题，对于生态补偿量化的研究较少。本文从粮食安全的角度出发，并且与生态补偿优先级相结合，对河北省环京津耕地生态补偿问题进行了探究，量化了县(市)之间耕地生态补偿量及补偿优先级，明确了环京津各县市间耕地生态补偿的经济关系，对于促进环京津经济发展、耕地生态环境保护与耕地资源持续高效利用发挥着重要作用。但本文仅对 2014 年环京津耕地生态补偿及其空间分布状况进行了定量分析，并未深入分析造成这种空间分布状况的原因，且未结合其时间变化规律进行时空动态全面分析，今后可在此基础上探索适当的方法对环京津耕地生态补偿时空变化特征及驱动力分析、改善环京津耕地生态环境质量的措施、建议等方面进一步深入分析研究。

参考文献 References

[1] Semwal R L, Nautiyal S, Sen K K, et al. Patterns and ecological implications of agricultural land-use changes: A case study from central Himalaya, India[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2004, 102(1): 81–92
[2] 赖敏，吴绍洪，尹云鹤，等. 三江源区基于生态系统服务价值的生态补偿额度[J]. 生态学报, 2015, 35(2): 227–236
Lai M, Wu S H, Yin Y H, et al. Accounting for eco-compensation in the three-river headwaters region based on ecosystem service value[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(2): 227–236
[3] 李芬，李文华，甄霖，等. 森林生态系统补偿标准的方法探讨——以海南省为例[J]. 自然资源学报，2010, 25(5): 735–745
Li F, Li W H, Zhen L, et al. Estimating eco-compensation requirements for forest ecosystem conservation — A case study of Hainan Island[J]. Journal of Natural Resources, 2010, 25(5): 735–745
[4] Rees W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out[J]. Environment and Urbanization, 1992, 4(2): 121–130
[5] 王女杰，刘建，吴大千，等. 基于生态系统服务价值的区域生态补偿——以山东省为例[J]. 生态学报，2010, 30(23): 6646–6653
Wang N J, Liu J, Wu D Q, et al. Regional eco-compensation based on ecosystem service assessment: A case study of Shandong Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(23): 6646–6653
[6] 河北省统计局. 河北省 2014 年统计年鉴[M]. 北京：中国统计出版社, 2014
Hebei Province Statistics Bureau. Hebei Province Statistics Yearbook 2014[M]. Beijing: China Statistics Press, 2014
[7] 张皓玮，方斌，魏巧巧，等. 区域耕地生态价值补偿量化模型构建——以江苏省为例[J]. 中国土地科学，2015, 29(1): 63–70

Zhang H W, Fang B, Wei Q Q, et al. Building quantitative model of ecological value compensation for regional arable land: A case study of Jiangsu Province[J]. China Land Science, 2015, 29(1): 63–70

[8] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387(6630): 253–260

[9] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J]. 自然资源学报, 2008, 23(5): 911–919
Xie G D, Zhen L, Lu C X, et al. Expert knowledge based valuation method of ecosystem services in China[J]. Journal of Natural Resources, 2008, 23(5): 911–919

[10] 郭年冬, 李恒哲, 李超, 等. 基于生态系统服务价值的环京津地区生态补偿研究[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(11): 1473–1480
Guo N D, Li H Z, Li C, et al. Regional ecological compensation based on ecosystem service value in the area surrounding Beijing and Tianjin[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2015, 23(11): 1473–1480

[11] 徐中民, 陈东景, 张志强, 等. 中国 1999 年的生态足迹分析[J]. 土壤学报, 2002, 39(3): 441–445
Xu Z M, Chen D J, Zhang Z Q, et al. Calculation and analysis on ecological footprints of China[J]. Acta Pedologica Sinica, 2002, 39(3): 441–445

[12] 徐中民, 张志强, 程国栋. 甘肃省 1998 年生态足迹计算与分析[J]. 地理学报, 2000, 55(5): 607–616
Xu Z M, Zhang Z Q, Cheng G D. The calculation and analysis of ecological footprints of Gansu Province[J]. Acta Geographica Sinica, 2000, 55(5): 607–616

[13] 张智全, 于爱忠, 罗珠珠, 等. 甘肃省庆阳市生态足迹和生态承载力动态研究[J]. 草业学报, 2010, 19(4): 187–193
Zhang Z Q, Yu A Z, Luo Z Z, et al. Dynamics of the ecological footprint and ecological capacity of Qingyang, Gansu[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2010, 19(4): 187–193

[14] 周小平, 宋丽洁, 柴铎, 等. 区域耕地保护补偿分区实证研究[J]. 经济地理, 2010, 30(9) : 1546–1551
Zhou X P, Song L J, Chai D, et al. Empirical research on zoning of externalities compensation for regional cultivated land protection[J]. Economic Geography, 2010, 30(9) : 1546–1551

[15] 曹瑞芬, 张安录. 主体功能区划框架下耕地保护经济补偿分区——以湖北省为例[J]. 华中农业大学学报: 社会科学版, 2014, 33(4): 98–104
Cao R F, Zhang A L. Zoning of economic compensation for cultivated land protection under framework of main function zones — A case study in Hubei Province[J]. Journal of Huazhong Agricultural University: Social Sciences Edition, 2014, 33(4): 98–104

[16] 马爱慧, 蔡银莺, 张安录. 耕地生态补偿实践与研究进展[J]. 生态学报, 2011, 31(8): 2321–2330
Ma A H, Cai Y Y, Zhang A L. Practice and the research progress on eco-compensation for cultivated land[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(8): 2321–2330

[17] Wackernagel M, Onisto L, Bello P, et al. National natural capital accounting with the ecological footprint concept[J]. Ecological Economics, 1999, 29(3): 375–390

[18] 靳亚亚, 赵凯, 肖桂春. 陕西省耕地保护经济补偿分区研究: 基于粮食安全与生态安全双重视角[J]. 中国土地科学, 2015, 29(10): 12–19
Jin Y Y, Zhao K, Xiao G C. The economic compensation zoning of the cultivated land protection in Shaanxi Province: From the perspective of food and ecological security[J]. China Land Sciences, 2015, 29(10): 12–19

[19] 蔡邦成, 温林泉, 陆根法. 生态补偿机制建立的理论思考[J]. 生态经济, 2005, (1): 45–52
Cai B C, Wen L Q, Lu G F. Theoretical considerations on the establishment of ecological compensation mechanism[J]. Ecological Economy, 2005, (1): 45–52

[20] 任平, 吴涛, 周介铭. 耕地资源非农化价值损失评价模型与补偿机制研究[J]. 中国农业科学, 2014, 47(4): 786–795
Ren P, Wu T, Zhou J M. Study on value loss evaluation model and compensation mechanism of cultivated land conversion[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(4): 786–795